

Satellitenkommunikation

André Klonz

24. Juli 2007

Seminar: Anwendungsfelder der Mobilen Kommunikation
Sommersemester 2007

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Umlaufbahnen	4
2.1	LEO-Systeme	5
2.2	GEO-Systeme	5
2.3	MEO-Systeme	6
3	Multiplexverfahren	6
4	Handover	8
5	Iridium	9
5.1	Intersatelliten Links	10
5.2	Multiplexing bei Iridium	11
6	Inmarsat	12
7	Schlussbemerkung	14

1 Einleitung

Noch im Jahr 2000 waren 80% der Erdoberfläche und 40% der Weltbevölkerung, laut [1], mit herkömmlichen, terrestrischen Kommunikationsmitteln nicht zu erreichen. Da es sich finanziell auch nicht auszahlen würde, die vorhandenen Netze über die gesamte Erde auszudehnen und dies speziell auf den Ozeanen auch gar nicht möglich ist, muss man auf andere Mittel zurückgreifen um eine weltweite Abdeckung mit Kommunikationsmitteln zu gewährleisten. Satellitendienste können hier Lücken im terrestrischen Netz füllen. Satelliten umkreisen die Erde auf verschiedenen Umlaufbahnen (siehe *Abchnitt 2*), von denen aus sie jeweils einen großen Teil der Erdoberfläche einsehen und mit Funksignalen abdecken können. So ist es mit wenigen Satelliten möglich die gesamte Erde oder einen sehr großen Teil davon, inklusive der Ozeane, abzudecken. Vor allem auf Schiffen und in Gebieten ohne sonstige Kommunikationsnetze, wird davon profitiert.

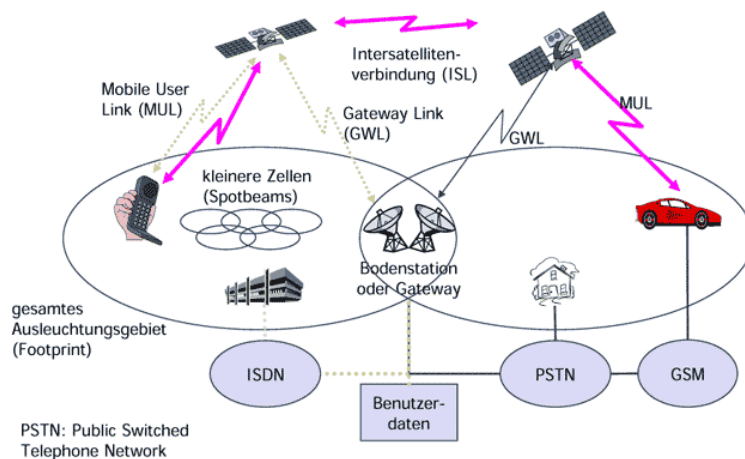


Abbildung 1: Übersicht über die Satellitenkommunikation([2] Seite 310)

Abbildung 1 gibt einen grundlegenden Überblick über Satellitensysteme. Jeder Satellit hat einen Bereich auf der Erde, den er einsehen und mit seinen Signalen abdecken kann. Diesen Bereich nennt man das Ausleuchtungsgebiet bzw. den Footprint des Satelliten, der wiederum in Zellen oder auch Spotbeams organisiert ist. Die Anbindung des Satelliten an das terrestrische Netz erfolgt über Gateways. Ein Satellit kann drei verschiedene Arten von Verbindungen aufbauen. Die Verbindung zu einem anderen Satelliten (Intersatelliten-Link), zu einer mobilen Einheit, wie zum Beispiel einem Handy oder Autotelefon, (Mobile User Link) und die Verbindung zu seiner Bodenstation (Gateway Link).

2 Umlaufbahnen

Satelliten bewegen sich auf verschiedenen Bahnen um die Erde. Je nachdem, wie hoch diese Bahnen liegen, handelt es sich bei den Satelliten um HEO-, GEO-, MEO- oder LEO-Systeme, wie sie in *Abbildung 2* dargestellt sind. Damit ein Satellit seine Bahn nicht aufgrund der Gravitation verlässt,

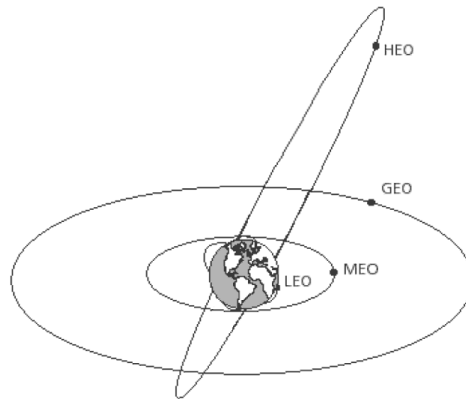


Abbildung 2: verschiedene Umlaufbahnen ([1] Seite 2)

müssen Erdanziehungskraft F_g und die Fliehkraft F_z des Satelliten gleich sein.

$$F_g = m \cdot g \cdot (R/r)^2$$

$$F_z = m \cdot r \cdot \omega = m \cdot g \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$$

Wie man leicht sieht, kann man beim Gleichsetzen der beiden Formeln die Masse herauskürzen. Damit bleiben neben den Konstanten nur noch 2 Variablen, der Radius und die Frequenz. Eine stabile Umlaufbahn ist also nur von dem richtigen Verhältnis zwischen dem Radius und der Bahngeschwindigkeit (Frequenz) abhängig (*Abbildung 3*). Für den Radius ergibt sich somit

$$r = \sqrt[3]{\frac{g \cdot R^2}{2 \cdot \pi \cdot f}}$$

Bei einer Erdumdrehung pro Tag ergibt sich somit ein Radius von etwa 42000km bzw. eine Höhe von ca. 36000km . Wenn ein Satellit also seine Umlaufbahn in 36000km hat, so umkreist er also die Erde genau einmal am Tag und befindet sich somit aus Sicht der Erde immer an der gleichen Stelle (siehe *Abschnitt 2.2*).

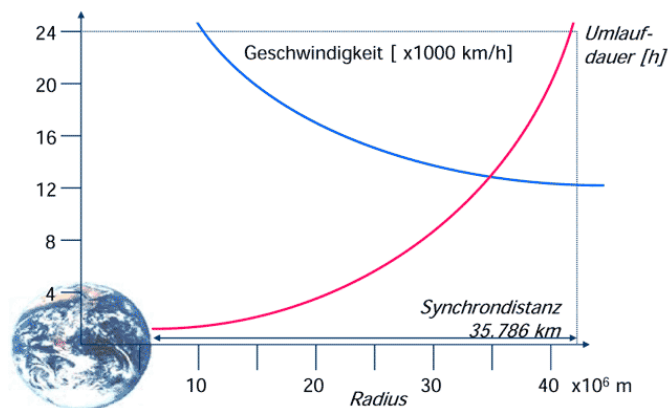


Abbildung 3: Verhältnis zwischen Radius und Bahngeschwindigkeit ([2] Seite 313)

2.1 LEO-Systeme

LEO (Low-Earth-Orbit) Satellitensysteme befinden sich in sehr niedrigen Umlaufbahnen von nur $700 - 2000 \text{ km}$. Aufgrund der geringen Flughöhe benötigen sie nur relativ schwache und damit kleine Sender und sind somit kleine und billige Alternativen zu geostationären Systemen (*Abschnitt 2.2*). Dafür ergeben sich jedoch auch Probleme. Sie haben nur eine sehr kleine Ausleuchtzone, die sich wegen ihrer hohen Geschwindigkeit ständig verschiebt. Ein LEO-Satellit ist von der Erde aus nur 10 bis 40 Minuten sichtbar. Für eine flächendeckende und unterbrechungsfreie Kommunikation sind somit sehr viele Satelliten und ständige Handover (*Abschnitt 4*) notwendig. Ferner kommt es wegen der hohen Geschwindigkeit beim Senden der Signale zu einem Dopplereffekt, was sich in einer niedrigeren Übertragungsrate oder einem höheren Aufwand bei der Fehlerkorrektur widerspiegelt.

2.2 GEO-Systeme

Satelliten mit einem geostationären Orbit befinden sich über dem Äquator in einer Höhe von 35786 km und somit genau in der Synchrondistanz zur Erde. Für einen vollständigen Erdumlauf benötigen sie genau einen Tag. Sie stehen somit immer über dem selben Punkt auf der Erde. Dadurch verschwindet nicht nur der Dopplereffekt, es ist auch nicht nötig, sich ständig auf einen neuen Satelliten auszurichten, eine einmalige Ausrichtung des Empfängers völlig ausreichend. Durch die große Höhe ist die Ausleuchtzone eines GEO-Satelliten sehr groß und es genügen wenige Satelliten, um einen sehr großen Bereich abzudecken. Allerdings wird wegen ihrer starren Lage über dem Äquator die Ausleuchtung ab dem sechzigsten Breitengrad immer schlechter [2]. Die große Höhe bringt jedoch auch Nachteile mit sich. Es werden sehr leistungsfähige und damit große Sender benötigt, wodurch die Satel-

liten selbst groß und schwer werden. Außerdem beträgt die Signallaufzeit bei einer Entfernung von fast 36000km beinahe 250ms . Für zeitkritische Anwendungen sind geostationäre Satelliten somit nicht geeignet. Wie [1] zu entnehmen ist, muss der Abstand zwischen zwei Satelliten mindestens 2° betragen, damit sich ihre Signale nicht überlagern. Somit können pro Frequenzbereich nur 180 Satelliten gleichzeitig aktiv sein.

2.3 MEO-Systeme

Medium Earth Orbit- Satelliten umkreisen die Erde in einer Höhe von $6000 - 20000\text{km}$. Sie vereinen somit sowohl die Vor- als auch die Nachteile von LEO- und GEO-Satellitensystemen. Zwar werden für eine vollständige Erdabdeckung weniger Satelliten benötigt als bei LEO-Systemen, jedoch haben diese dann eine längere Signallaufzeit und nach wie vor Probleme mit dem Dopplereffekt. MEO-Satelliten sind kleiner und billiger als GEO-Systeme, allerdings werden für den gleichen Abdeckungsbereich auch mehr Satelliten benötigt. Da sie nicht wie gestationäre Satelliten fest über einem Punkt stehen, sondern um die Erde kreisen, ist ein regelmäßigen Abständen ein Handover notwendig.

3 Multiplexverfahren

Mit einem Multiplexverfahren können mehrere Signale zusammengefasst werden, und gleichzeitig über ein Medium versendet werden. Dies ist notwendig, da die einzelnen Signal sich sonst gegenseitig stören würden. Dabei werden besonders Raum-, Frequenz-, Zeit- und Codebasierte Multiplexverfahren genutzt. Es wird ein vorhandener Bereich in Teilbereich aufgeteilt, die den einzelnen Signalen zugewiesen werden. In der Praxis werden meist Kombinationen einzelner Multiplexverfahren genutzt.

SDMA: Beim *Space Division Multiple Access* handelt es sich um ein Raummultiplexverfahren. Hierbei werden die Signale in räumlich voneinander getrennten Medien, wie z.B. verschiedene Kabel, übertragen. Bei einer Funkübertragung kann dies durch verschiedene Richtantennen, die jeweils nur einen kleinen Teil des Zielgebietes abdecken, erreicht werden. In jeder dieser so entstehenden Zellen kann nun jeweils ein Sender senden, ohne dass er seine Nachbarn beeinträchtigt.

FDMA: *Frequency Division Multiple Access* ist ein Frequenzmultiplexverfahren. Es teilt den vorhandenen Frequenzbereich in Kanäle auf, auf die die Sender dann ihre Signal modulieren. Der Empfänger kann aus dem empfangenen Frequenzbereich durch Filter die einzelnen Kanäle trennen und dann die Signale heraus demodulieren (*Abbildung 4*). Auf diese Weise, können mehrere Sender gleichzeitig im

gleichen Frequenzbereich Senden, ohne dass ihre Signale sich gegenseitig stören.

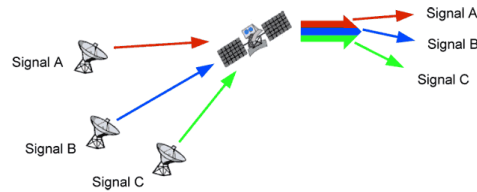


Abbildung 4: Frequenzmultiplexing

TDMA: *Time Division Multiple Access* ist ein Zeitmultiplexverfahren. Hierbei wird das Zugriffsrecht auf eine Frequenz zeitlich gesteuert. *Abbildung 5* zeigt wie die vorhandene Zeit in Rahmen unterteilt wird, in den jeder einen Zeitschlitz hat. Zu einem Zeitpunkt sendet also immer nur ein Sender. Der Satellit sendet die Signale für die einzelnen Empfänger wiederum auch in Rahmen zu bestimmten Zeitschlitzen. Durch festgelegte Reihenfolge und Länge der einzelnen Zeitschlitze können somit Sender und Empfänger die Signal-Teile eindeutig zuordnen.

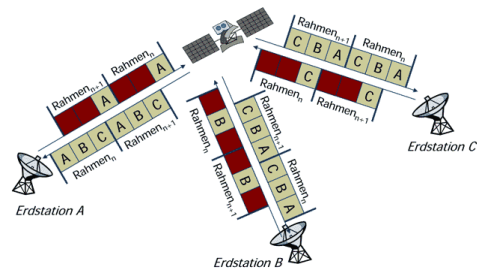


Abbildung 5: Zeitmultiplexing ([2] Seite 333)

CDMA: Bei *Code Division Multiple Access* handelt es sich um ein codebasiertes Multiplexverfahren. Bei der Übertragung der Nachrichten werden die Bitfolgen in einen Code (Spreizcode) übersetzt. Bei einer 0 wird der Spreizcode selbst und bei einer 1 wird der inverse Spreizcode gesendet. Jeder Sender hat seinen eigenen Spreizcode, der zu den Codes der anderen Sender orthogonal ist, damit sich die Signale nicht gegenseitig stören. CDMA bietet eine gute Fehlertoleranz, begrenzt aber durch die Spreizcodes die Datenrate, da für jedes Bit immer der ganze Code gesendet werden muss.

4 Handover

Ein Handover ist der Wechsel des physikalischen Kanals, ohne dass die Verbindung unterbrochen wird. Da sich sowohl die Satelliten (MEO, LEO) als auch die Benutzer in Bewegung befinden, sind von Zeit zu Zeit Handover notwendig um die Verbindung aufrecht zu erhalten. Ein Handover ist notwendig wenn sich einer der Teilnehmer der Verbindung den Erfassungsbereich eines anderen verlässt. Man unterscheidet 4 verschiedene Arten von Handovern: Intrasatelliten-Handover, Intersatelliten-Handover, Gateway-Handover und Intersystem-Handover

Intrasatelliten-Handover: Der Benutzer befindet sich zwar noch in der Ausleuchtzone des Satelliten, allerdings in einem anderen Spotbeam. Damit die Verbindung nicht abbricht, muss innerhalb des Satelliten die Verbindung vom der alten Spot zum aktuellen umgeschaltet werden. Wie in *Abbildung 6* zu erkennen ist, kann ein Intrasatelliten-Handover bei LEO-Systemen in sehr kurzen Intervallen notwendig sein.

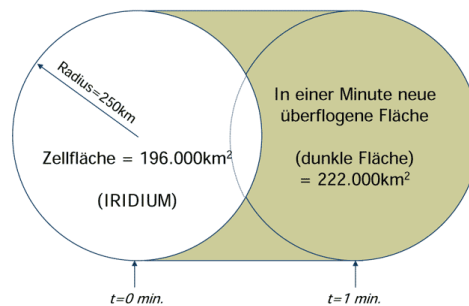


Abbildung 6: Intrasatelliten Handover bei Iridium([2] Seite 354)

Intersatelliten-Handover: Wenn der Benutzer den Footprint eines Satelliten verlässt, so muss die Verbindung an einen anderen Satelliten übergeben werden. Hierzu ist erheblich mehr Aufwand nötig als beim Intrasatelliten-Handover, da sowohl der Benutzer, beide Satelliten als auch das Gateway die Umschaltung realisieren müssen, ohne dass die Verbindung abbricht. Bei der Auswahl des neuen Satelliten spielen mehrere Faktoren eine Rolle. Einerseits sollte der neue Satellit möglichst lange im Bereich des Benutzers bleiben. Andererseits sollte er noch genügend freie Ressourcen haben, damit die Qualität der Verbindung nicht abnimmt. Da man aber nicht immer davon ausgehen kann, dass beide Bedingungen optimal erfüllt werden, muss man Kompromisse eingehen. z.B. Eine gute Verbindungsqualität und dafür häufigere Handover.

Gateway-Handover: Es kann auch vorkommen, dass der Benutzer zwar nach wie vor im Ausleuchtungsbereich des Satelliten ist, dieser sich jedoch aus dem Empfangsbereich seines Gateways heraus und in den Bereich eines anderen Gateways hinein bewegt hat (*Abbildung 6*). Hierbei muss die Verbindung des ersten Gateways zum Ziel der Verbindung zu dem neuen Gateway umgeschaltet werden. Da dieser Teil der Verbindung über die verschiedensten Wege stattfinden kann (Glasfaserkabel, GSM, ...) ist ein sehr großer Aufwand damit verbunden, dies zu bewerkstelligen, ohne dass die Verbindung spürbar beeinträchtigt wird.

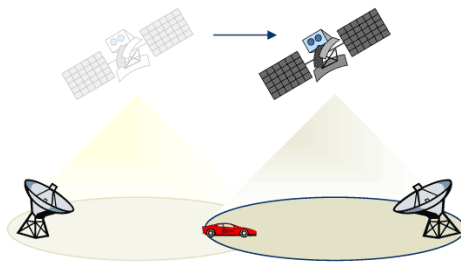


Abbildung 7: Gateway-Handover([2] Seite 361)

Intersystem-Handover: Ein Intersystem-Handover kann bei Hybrid-Geräten auftreten, die sowohl ein Satellitensystem also auch ein terrestrisches Netz unterstützen. Es tritt auf, wenn von einer der beiden Verbindungsmöglichkeiten auf die andere umgeschaltet wird. Da hierbei eine komplett neue Verbindung zwischen Verbindungspartnern aufgebaut und die alte ersetzt werden muss, ohne dass einer der Teilnehmer etwas davon bemerkt ist der damit Verbunde Aufwand sehr hoch.

5 Iridium

Das nach dem 77. Element benannte Satellitensystem war das erste kommerzielle LEO-System, welches die gesamte Erde abdeckt. Bereits 1990 reichte Motorola bei der FCC einen Antrag für den Abschuss von 77 Satelliten in eine niedrige Umlaufbahn ein. Am 1. November 1998 [1] startete Iridium offiziell sein Angebot. Statt der ursprünglich geplanten 77 Satelliten besteht das System aus 66 aktiven und 6 Reservesatelliten, die Erde auf 11 Bahnen in 780km Höhe umkreisen (siehe *Abbildung 8*). Die Satelliten halten über 12 Gateways Verbindung zur Erde [3]. Iridium bietet weltweite Sprach- und Datendienste mit $2,4\text{kbps}$. Wie aus [4] hervorgeht, wird zusätzlich ein netzinterner Internetdienst mit bis zu 10kbps angeboten, wobei die höhere Geschwindigkeit auf eine Datenkompression zurückzuführen ist. Statt den

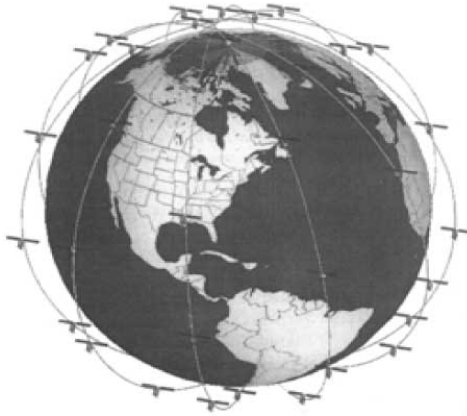


Abbildung 8: Umlaufbahnen bei Iridium([1] Seite 19)

mehreren hunderttausend Kunden konnte Iridium lediglich 55000 Kunden für sich gewinnen. Da dies für einen kommerziellen Erfolg zu wenig war, meldete die Betreibergesellschaft im Frühjahr 2000 Konkurs an. Im Sommer wurde das Netz, nach einer mehrmonatigen Übergangszeit, dann endgültig abgeschaltet. Ein Jahr später, kurz bevor die Satelliten mit dem kontrollierten Absturz beginnen sollten, stellten der Boeing und das amerikanische Verteidigungsministerium die nötigen Gelder für den weiteren Betrieb bereit. Seitdem läuft die Vermarktung, dank einer dünneren Personaldecke, deutlich besser, da nur noch 60000 Kunden nötig sind, um Gewinne zu erwirtschaften. Die Kommunikation bei Iridium findet in mehreren Frequenzbereichen statt. Für die Verbindung zwischen den mobilen Einheiten und den Satelliten wird der Bereich von 1616MHz bis $1626,5\text{MHz}$ genutzt. Untereinander kommunizieren die Satelliten auf Frequenzen zwischen $23,18\text{GHz}$ und $23,38\text{GHz}$, während die Verbindung zu den Gateways für den Uplink zwischen $29,10\text{GHz}$ und $29,3\text{GHz}$ und für den Downlink zwischen $19,4\text{GHz}$ und $19,6\text{GHz}$ liegt. Da die Satelliten sich in sehr niedrigen Umlaufbahnen bewegen, sind in den mobilen Einheiten keine sehr starken Sender notwendig. Ein Iridium-Handy kann somit in relativ kleinen Abmessungen hergestellt werden. Wie man in *Abbildung 9* sehen kann, ist es zwar immer noch größer und schwerer als ein aktuelles GSM-Gerät, bietet dafür aber den Vorteil, dass es weltweit einsetzbar ist.

5.1 Intersatelliten Links

Eine Besonderheit bei Iridium stellen die Intersatelliten-Links (ISL) dar. Hierbei wird ein Gespräch zwischen den Satelliten so lange weitergeleitet, bis es zu einem Gateway in der Nähe des Ziels oder direkt zu einem Satellitentelefon geleitet werden kann. Dies hat zwar den Nachteil, dass die Signallaufzeit dadurch etwas erhöht wird, dafür werden jedoch viel weniger

Small, light and resistant to water, the 9505A is designed to travel

where to buy >>

The 9505A is the ideal communications option for people who work in or travel to remote locations. Take it with you on your next trip.

Description Features **Specifications** Accessories

- Dimensions: 158L x 62W x 59D mm
- Volume: Under 375cc (22.9 ci)
- Weight: Under 375g (13.2 ounces)
- 3.2 hours Talk Time
- 30 hours Standby Time
- Operating range: -10 to +55 °C

Abbildung 9: Iridium-Handy auf der Anbieterseite ([5])

Gateways benötigt, da nicht jeder Satellit zu jedem Zeitpunkt im Empfangsbereich eines Gateways sein muss. Theoretisch würde es reichen, wenn nur ein Satellit eine Verbindung zu einem Gateway hat. Wie in *Abbildung 10* zu sehen ist, hat jeder Satellit eine Verbindung zu seinem Vorgänger bzw. Nachfolger auf seiner Bahn, sowie zu zwei Satelliten auf den beiden benachbarten Umlaufbahnen.

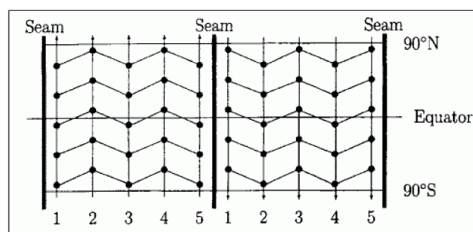


Abbildung 10: Intersatelliten-Links ([3] Seite 10)

5.2 Multiplexing bei Iridium

Bei Iridium kommt eine Kombination von SDMA, FDMA und TDMA (siehe *Abschnitt 3*) zum Einsatz. Der Footprint eines jeden Satelliten wird durch Räummultiplexing in 4 Zellcluster mit jeweils bis zu 12 Zellen aufgeteilt. Der Durchmesser einer Zelle beträgt bis zu 600km . In jedem der

Cluster kann jeweils der gesamte Frequenzbereich genutzt werden. Wie in *Abbildung 11* zu sehen ist, wird durch FDMA wird der vorhandene Frequenzbereich in 240 Kanäle unterteilt, wobei zwischen diesen 41,67kHz breiten Kanälen jeweils noch ein Guard band befindet um mögliche, durch den Dopplereffekt entstehende, Interferenzen zu vermeiden. Die Kanäle werden

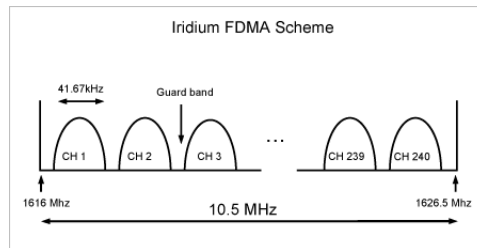


Abbildung 11: Frequenzmultiplex bei Iridium([3] Seite 9)

wiederum in 90ms lange TDMA-Frames unterteilt, die jeweils 4 Up- und 4 Downlink Zeitschlitzte enthalten (*Abbildung 12*). Zu einer Sprachverbindung gehört jeweils ein Up- und ein Downlink. Da die einzelnen Signallaufzeiten, aufgrund unterschiedlicher Standorte im Sendebereich, voneinander abweichen können, befindet sich zwischen den Zeitschlitzten eine Guard Time um zu verhindern, dass sich die Signale zweier Zeitschlitzte überlagern. Zu Be-

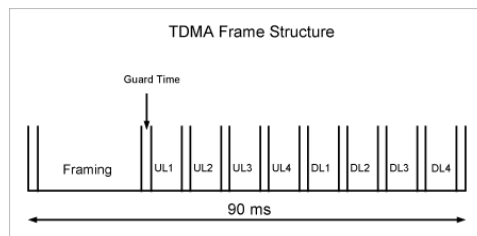


Abbildung 12: Zeitmultiplex bei Iridium([3] Seite 10)

ginn eines jeden Frames werden die einzelnen Benutzer durch den Satelliten synchronisiert und die Sende- bzw. die Empfangszeiten zugewiesen. Pro Zelle stehen 20 Kanäle mit jeweils 4 möglichen Verbindungen zur Verfügung. Daraus ergibt sich, dass innerhalb einer Zelle maximal 80 Verbindungen gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden können.

6 Inmarsat

Inmarsat ist ein auf geostationären Satelliten basierendes Satellitensystem. Wie in *Abbildung 13* zu sehen ist, deckt Inmarsat zwar einen großen Teil Welt ab, ist jedoch in den Polarregionen nicht zu erreichen. Ursprünglich

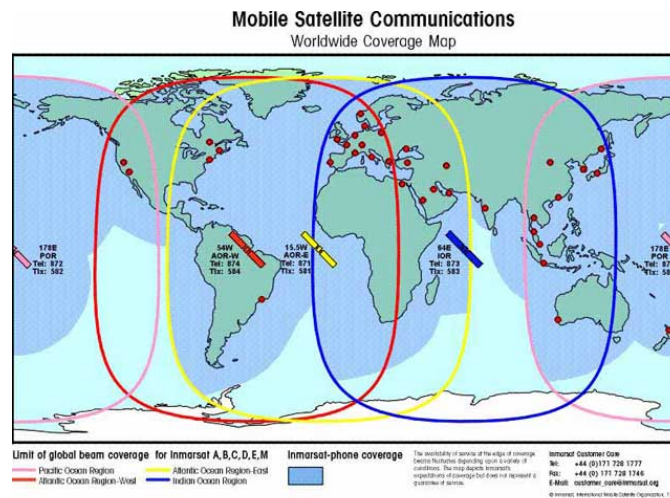


Abbildung 13: Netzabdeckung bei Inmarsat ([6])

diente es dazu Nachrichtenverbindungen auf den Ozeanen zur Verfügung zu stellen. Mittlerweile stellt Inmarsat mehrere Dienste zu Verfügung [7] [8] :

- Inmarsat-A bietet analoge Sprach- und Datenkommunikation mittels Modem. Die Datenrate liegt bei etwa $9,6\text{ kbit/s}$.
- Inmarsat-B stellt digitale Daten- und Sprachdienste mit bis zu 64 kbit/s zur Verfügung.
- Inmarsat-C bietet einen digitalen Datendienst mit Zwischenspeicherung. Die Nachrichten werden vor der Übertragung zwischengespeichert und dann zeitverzögert und verschlüsselt mit bis zu 64 kbit/s übertragen. Die Nachrichtenlänge ist auf 32KB begrenzt.
- Inmarsat-D bietet einen Funkrufdienst für mobile Empfänger, wie Pager. Die Nachrichtenübertragung erfolgt als Broadcast.
- Inmarsat-E ist ein Übertragungsdienst für die Signale von Seenotretungsbojen im Bereich von $1,6\text{ GHz}$.
- Inmarsat-M stellt digitale Sprach- und Datenübertragung mit bis zu $4,8\text{ kbit/s}$ zur Verfügung.
- Inmarsat-BGAN ist ein globales Breitbandnetzwerk. Es stellt digitale Verbindungen mit bis zu 432 kbit/s für den Downlink und 144 kbit/s für den Uplink zur bereit.

Da es sich um ein geostationäres System handelt, befinden sich die Inmarsat-Satelliten immer an der gleichen Stelle über der Erde. Deshalb ist eine einmalige Ausrichtung der Antenne ausreichend und die Verbindung wird auch

nicht durch ständige Handover verkompliziert. Allerdings muss man aufgrund der fast 36000km Höhe der Satelliten mit sehr langen Signallaufzeiten rechnen und man benötigt für die Überbrückung dieser Distanz auch entsprechend starke Sender. Wie man in *Abbildung 14* sehen kann, sind die mobilen Geräte bei Inmarsat bedeutend größer als bei terrestrischen GSM-Netzen.

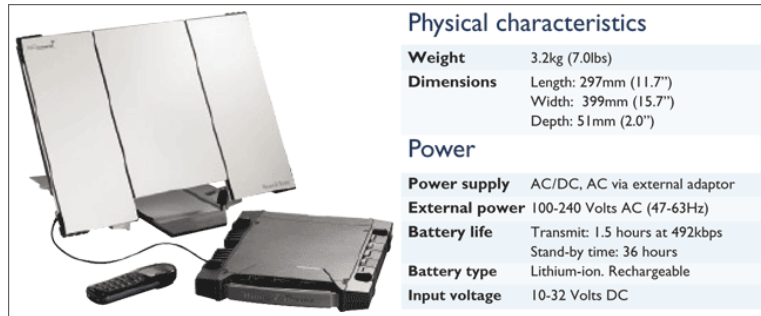


Abbildung 14: Auszug aus dem Datenblatt zum BGAN Explorer 700 ([9])

7 Schlussbemerkung

Satelliten erreichen weder die Bandbreite von Glasfaserkabeln, noch sind die mobilen Geräte so klein, leicht und ausdauernd wie bei GSM-Netzen. Dennoch spielen sie große Rolle in der modernen Kommunikationswelt. Denn überall, wo es nicht auf sehr kleine Signallaufzeiten sondern auf Flexibilität ankommt, haben Satellitensysteme die Nase vorn. Aufgrund ihrer enormen Netzabdeckung ist man durch sie nahezu überall auf der Welt in der Lage zu telefonieren oder eine Datenverbindung aufzubauen.

Literatur

- [1] **Evelin Kofler**
Satellitenkommunikation;
<http://www-itec.uniklu.ac.at/~hellwagn/Seminare/AngewandteInformatik/satellitenkommunikation-paper.pdf>;
2002

- [2] **Jochen Seitz**
Vorlesung Kommunikationsdienste und -netze / Protokolle und Dienste in Mobilnetzen;
http://zack1.e-technik.tu-ilmenau.de/~webkn/lehre/Folien_KDN_inf/V09-Satelliten.pdf

- [3] **Christoph Mokler**
Satellitenbasierte Systeme;
http://www.mobile.ifi.lmu.de/Hauptseminare/ws0102/handouts/mokler_doc.pdf; 2001

- [4] **Iridium, GlobalStar und die anderen;**
<http://www.teltarif.de/i/sat-telefon.html>

- [5] **Iridium**
<http://www.iridium.com/>

- [6] <http://www.navtec.de/deutsch/inmarsat/inmarcov.jpg>

- [7] **Inmarsat-Dienst**
http://www.itwissen.info/definition/lexikon/...inmarsat%20service_inmarsat-dienst.html

- [8] **Inmarsat Broadband Satellite Network**
<http://www.mobilecomms-technology.com/projects/inmarsat.htm>

- [9] **BGAN Explorer 700 specification**
<http://www.inmarsat.com/files/downloadnew.aspx?file=BGAN%20Collateral/english/Terminal%20Thrane%20700%2001.pdf&language=EN&textonly=False>